

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКА НАЦІОНАЛЬНА АКАДЕМІЯ МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА**

**Методичні вказівки**

до виконання лабораторних і  
семестрових контрольних робіт

з курсу

**«Електричні апарати»**

за модульно-рейтинговою системою навчання

(для студентів 3 курсу денної і 3-4 курсів заочної форм навчання  
за напрямом підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології»  
спеціальності «Світлотехніка і джерела світла»)

Методичні вказівки до виконання лабораторних і семестрових контрольних робіт з курсу «Електричні апарати» за модульно-рейтинговою системою навчання (для студентів 3 курсу денної і 3-4 курсів заочної форм навчання за напрямом підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології» спеціальності «Світлотехніка і джерела світла») / Харк. нац. акад. міськ. госп-ва; уклад.: Є. П. Тимофєєв, О. М. Ляшенко, Ю. О. Васильєва. – Х.: ХНАМГ, 2008. – 35 с.

Укладачі: Є. П. Тимофєєв,  
О. М. Ляшенко,  
Ю. О. Васильєва

Рецензент: к.т.н., доц. А. С. Литвиненко

Рекомендовано кафедрою світлотехніки та джерел світла,  
протокол № 9 від 10 березня 2008 р.

## ЗМІСТ

<b>I. Лабораторні роботи.....</b>	<b>4</b>
Лабораторна робота № 1.....	4
Лабораторна робота № 2.....	9
Лабораторна робота № 3.....	13
Лабораторна робота № 4.....	14
Лабораторна робота № 5.....	17
Лабораторна робота № 6.....	19
Лабораторна робота № 7.....	22
<b>II. Семестрові контрольні завдання.....</b>	<b>26</b>
<b>III. Формування підсумкової оцінки з курсу «Електричні апарати» при модульно-рейтинговій системі навчання.....</b>	<b>32</b>
<b>Основні терміни.....</b>	<b>34</b>
<b>Список літератури.....</b>	<b>35</b>

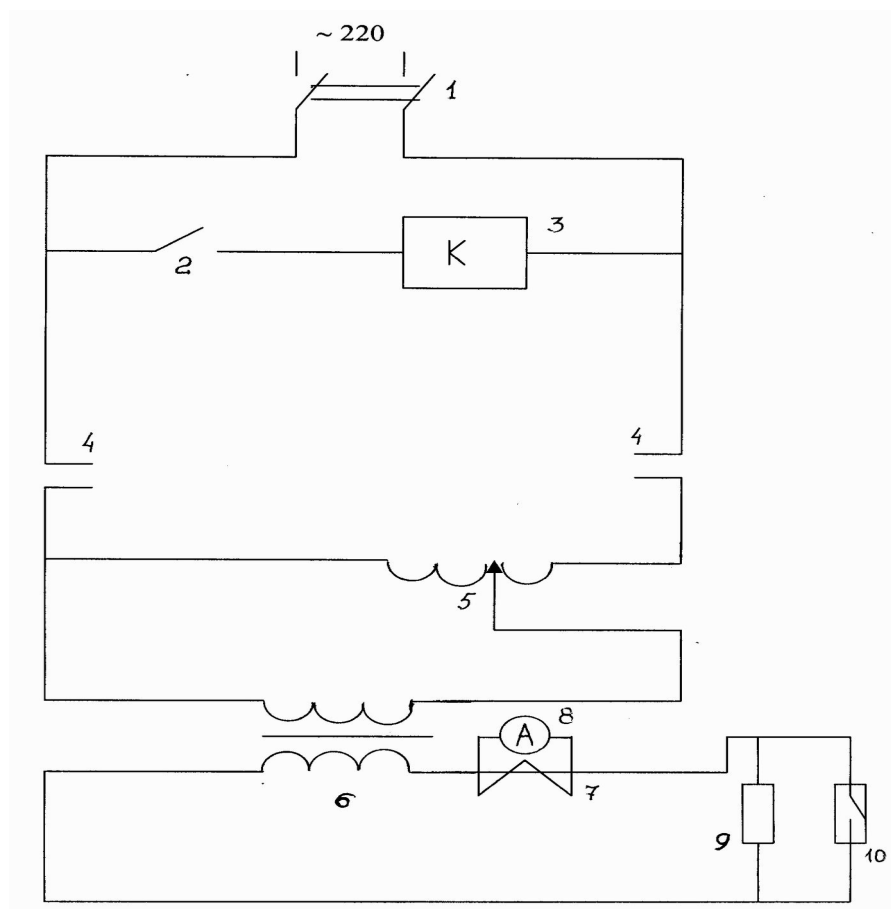
# І. ЛАБОРАТОРНІ РОБОТИ

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №1

### ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМУ АВТОМАТИЧНОГО ВИМИКАЧА І ПОБУДОВА ЙОГО ЧАСОВО-СТРУМОВОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Мета роботи: дослідження роботи автоматичного вимикача (АВ) при відключенні ним струмів перевантаження і побудова часово-струмової характеристики вимикача.

Принципова схема установки наведена на рис.1.



*Рис. 1 – Принципова схема установки*

1- ввідний автоматичний вимикач типу АП І-50( $I_n=I_6A$ ); 2- тумблер; 3- котушка магнітного пускача; 4- контакти пускача; 5-ЛАТР; 6- трансформатор силовий; 7- вимірювальний трансформатор струму; 8- амперметр; 9- еквівалентний опір ( типу АЗ161 Т4); 10-досліджуваний АВ (АЗ161 Т4,  $I_n=15A$ ).

## Загальні положення

Для захисту низьковольтних (до 1000В) електричних кіл при аварійних режимах роботи застосовують автоматичні вимикачі різного виконання і призначення. Відключення автомата відбувається під дією елементів захисту - розчіплювачів. Найбільш поширені максимальні розчіплювачі. Велике поширення одержали електромагнітна система і теплова з використанням біметалевої пластини. Електромагнітний розчіплювач простий за конструкцією, має високу термічну й електродинамічну стійкість. До моменту впливу на механізм вільного розчеплення якір розчіплювача звичайно має значний вільний хід (5-10 мм). Розчеплення відбувається за рахунок удару, при якому основну роль відіграє кінетична енергія, накопичена в якорі до моменту удару. Усе це забезпечує чітку роботу автомата. Регулювання струму спрацьовування може здійснюватися за рахунок натягу пружини чи зміни числа витків обмотки, що обтікається струмом навантаження. Для створення витримки часу між електромагнітом і механізмом вільного розчеплення ставлять пристрій затримки. Для селективно працюючих автоматів необхідна строга узгодженість у часі, що досягається застосуванням часового механізму. Витримка часу такого пристрою не залежить від струму, а отже, такий пристрій від перевантажень не захищає. Захист від струмів перевантаження може здійснюватися іншими способами: за допомогою електронних розчіплювачів, заснованих на роботі напівпровідникових елементів; на основі дії силіконової рідини; за рахунок нагрівання термобіметалу. Через досить просту конструкцію і дешевизну в порівнянні з першими двома методами розчіплювач струму (РС) на основі термобіметалу (тепловий розчіплювач) набув найбільшого застосування. Його часово-струмова характеристика може бути добре узгоджена з об'єктом, що захищається. Зокрема, в побутових освітлювальних мережах використовують АВ саме з тепловими розчіплювачами струму. Проте незважаючи на перераховані вище переваги, є і ряд недоліків, що обмежують застосування теплових розчіплювачів:

1) недостатня термічна стійкість вимагає миттєвого відключення при великих струмах. У цих випадках звичайно застосовується комбінація з електромагнітного і теплового розчіплювача. Електромагнітний розчіплювач працює при коротких замиканнях, тепловий - при перевантаженнях;

2) із зростанням струму АВ збільшується зусилля, необхідне для розчеплення; Тому тепловий розчіплювач застосовують, як правило, при струмах до 300 А.

3) витримка часу теплового розчіплювача залежить від температури навколишнього середовища. Це не дає змоги цілком використовувати устаткування;

4) створення теплових розчіплювачів на великі струми пов'язано із значними труднощами. Застосування шунтів і трансформаторів струму збільшує габарити АВ.

Принцип дії РС полягає в тому, що при проходженні через вимикач струму, що перевищує номінальний, т.зв. струму перевантаження ( $1,3 \dots 10 I_n$ ). останній нагріває біметал розчіплювача і той, згинаючись, впливає на рейку розчеплення АВ. Очевидно, чим вище значення струму перевантаження, тим швидше відбудеться відключення вимикача. Таким чином, залежність  $t = f(K)$ , де  $K$  - кратність струму ( $I / I_n$ ) і  $t$  – час (сек.) називається часово-струмовою характеристикою АВ.

Загальний вид такої характеристики поданий на рис. 2.

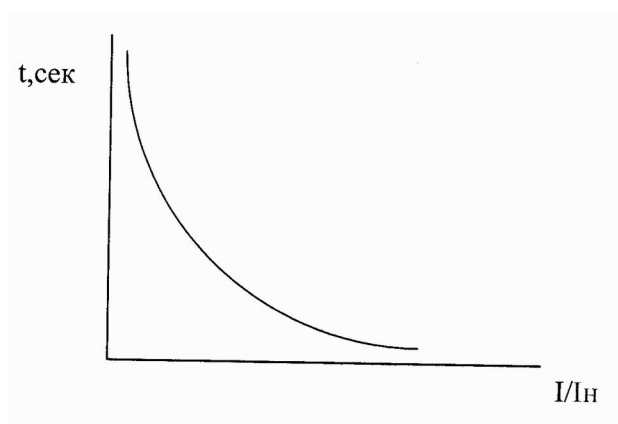


Рис. 2 – Загальний вид часово-струмової характеристики АВ.

Метою цієї роботи є побудова часово-струмової характеристики при пропусканні через випробуваний автоматичний вимикач різних струмів перевантаження. Оскільки відлік часу спрацьовування АВ необхідно робити з «холодного» стану (температура струмоведучих частин вимикача приблизно дорівнює температурі навколишнього середовища), потрібно після кожного виміру за допомогою вентилятора прохолоджувати АВ. У даній лабораторній роботі як випробуваний АВ застосовується однополюсний вимикач типу А 3161 Т4 на номінальний струм 15А. Він має тепловий розчіплювач струму (РС) для захисту від струмів перевантаження.

Щоб запобігти похибці виміру, в схему паралельно до випробуваного вимикача включається  $R_{екв}$  у вигляді такого ж точно АВ, але без наявності розчіплювача. Підбравши необхідне значення струму через  $R_{екв}$ , потрібно потім здійснити переключення схеми на досліджуваний АВ.

### Хід роботи:

1. Підготувати для запису результатів вимірів наступну таблицю:

$I / I_n$	$t, \text{сек}$
2	
3	
4	
5	
6	

2. Впевнитися, що рукоятка ЛАТРа знаходиться в положенні "0"; досліджуваний АВ відключений ( рукоятка-у положенні "0").
3. Ввімкнути вимикач АП-50, подавши напругу на установку.
4. Ввімкнути тумблер «Т», подавши напругу на силовий трансформатор.
5. Ввімкнути АВ, що виконує роль  $R_{екв}$  ( рукоятка - у положенні «І»).

6. За допомогою ЛАТРа підібрати струм, який у 2 рази перевищує номінальний ( $I / I_n = 2$ ;  $I = 30 \text{ A}$ ). Після цього відключити  $R_{\text{екв}}$ .

7. Одночасно ввімкнувши випробуваний АВ і секундомір, провести вимірювання часу спрацьовування РС. Рукояткою ЛАТРа підтримувати встановлене значення струму.

8. Відключити тумблер «Т», зняти кришку з вимикача і за допомогою вентилятора охолодити РС ( 5-7 хв.).

9. Виконати дії, описані в п. 4-8 для  $I / I_n = 3, 4, 5, 6$ .

10. Результати вимірювання занести в таблицю.

11. Відключити вимикач АП-50.

12. За даними таблиці побудувати залежність  $t = f(I/I_n)$

### **Питання**

1. Призначення максимальних розчіплювачів в автоматичному вимикачі.

2. Пояснити принцип дії РС.

3. Недоліки термобіметалевих розчіплювачів струму.

4. Що називається часово-струмовою характеристикою АВ?

5. Для чого у схемі лабораторної роботи використовується  $R_{\text{екв}}$ ?



## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №2

### ДОСЛІДЖЕННЯ СТАЦІОНАРНОГО РЕЖИМУ РОБОТИ АВ

#### Загальні положення

##### Нагрівання і охолодження деталей, що проводять струм

Під час протікання струму в провіднику він нагрівається внаслідок того, що має опір. Енергія, що виділяється у провіднику, перетворюється на тепло за час  $t$ , і в загальному випадку визначається джоулевым інтегралом

$$W = \int_0^t R i^2 dt, \quad (1)$$

де  $R$  – активний опір провідника;  $i$  – струм, що тече у провіднику.

Якщо  $R = \text{const}$ , то  $W = I^2 R t$ , а втрати в одиницю часу – потужність:

$$P = I^2 R, \quad (2)$$

Тоді теплова енергія, що виділяється у провіднику, витрачається у двох напрямках: частина її йде на нагрівання провідника – підвищення його температури, а друга частина виділяється у навколишній простір. Енергія, що витрачається на нагрівання провідника, Вт·сек.

$$W_1 = cG(\Theta - \Theta_0) = cG\tau, \quad (3)$$

де  $C$  – питома теплоємність матеріалу провідника, Дж/г °С;

$G$  – маса матеріалу провідника, г;

$\Theta$  – перевищення температури провідника над температурою навколишнього середовища, яке звичайно називається перегрівом.

Таким чином, ця частина енергії залежить тільки від фізичних властивостей провідника, його розмірів і перевищення температури. Величина другої частини енергії, яка виділяється в провіднику, залежить від можливостей передачі тепла в навколишній простір і визначається коефіцієнтом теплопередачі  $k$ , який є потужністю, що виділяється одиницею поверхні нагрітого тіла в навколишнє середовище при перевищенні температури на 1°С.

Отже енергія, що розсіюється у навколишнє середовище, Вт·сек:

$$W_2 = kSt\tau, \quad (4)$$

де  $k$  – коефіцієнт тепловіддачі Вт/см<sup>2</sup> °С;

$S$  – площа поверхні охолодження, см<sup>2</sup>;

$t$  – час, сек.

Або, переходячи до потужності розсіювання

$$P = kS\tau, \quad (5)$$

Як видно з формул (4), (5), із збільшенням перевищення температури зростає енергія, необхідна для подальшого підвищення температури, і енергія, що розсіюється у навколишньому середовищі. При визначенні температури нагріву утворюються такий стан, коли вся енергія, яка виділяється у провіднику, буде розсіюватися у навколишньому середовищі, а температура не зростатиме. Цей стан має назву теплового балансу і визначається рівнянням, складеним на базі рівнянь (2), (5):

$$k_d I^2 R = k S \tau_{ст}, \quad (6)$$

де  $\tau_{ст}$  – стале перевищення температури провідника;

$k_d$  – коефіцієнт додаткових втрат.

$$k_d = k_{\pi} + k_{\delta}, \quad (7)$$

де  $k_{\pi}$  – коефіцієнт поверхневого ефекта;

$k_{\delta}$  – коефіцієнт близькості.

Розглянемо процеси, що відбуваються у провіднику, коли крізь нього тече струм. Припустимо, що в початковий момент часу провідник має перевищення температури над температурою навколишнього середовища  $t$ , але не був нагрітий до сталої температури. Матеріал провідника має теплоємність  $C$ , питомий опір  $R$ , площу поверхні охолодження  $S$  та коефіцієнт теплопередачі  $k$ ; його теплопровідність беремо такою великою, щоб можна було знехтувати перепадом температури в масі провідника. Тоді за деякий дуже невеликий час  $Dt$  у провіднику виділяється енергія

$$\Delta W = P \Delta t. \quad (8)$$

Виконавши перетворення, отримуємо залежність перевищення температури  $\tau$  від часу:

$$\tau = \tau_{ст} \left( 1 - e^{-\frac{1}{T}} \right) + \tau_0 e^{-\frac{1}{T}}, \quad (9)$$

де  $T$  – стала часу нагрівання.

У тому разі, коли провідник починає нагріватися від температури навколишнього середовища, залежність набуває вигляду

$$\tau = \tau_{ст} \left( 1 - e^{-\frac{1}{T}} \right). \quad (10)$$

### Допустима температура апаратів

Температура електричного апарата при його роботі повинна бути визначена. Так, надмірне її перебільшення може призвести до швидкого виходу з ладу апарата внаслідок руйнування ізоляції, окислення, зносу контактів та ін. Низька температура нагріву свідчить про неповне використання перерізу струмопровідних деталей, тобто апарат має завищену масу й витрати матеріалу. Тому температура, при якій апарат може працювати досить тривалий час без пошкоджень і різкого погіршення ізоляції, має назву допустимої температури; вона визначається здатністю матеріалів витримувати нагрівання. Оскільки температура апарату залежить від температури навколишнього середовища, то при розрахунках користуються величиною припустимого перевищення температури:

$$\tau_{\text{прип}} = \Theta_{\text{прип}} - \Theta_{\text{навкол. сер.}}, \quad (11)$$

де  $\Theta_{\text{навкол. сер}}$  – температура навколишнього середовища.

За температуру навколишнього середовища звичайно беруть максимальну температуру, яка може бути при експлуатації електричних апаратів. Для апаратів звичайно  $\Theta_{\text{прип}} = 40^\circ\text{C}$ . Але технічні умови залежно від умов роботи апарату можуть вказувати також інші значення температури навколишнього середовища. Припустимі перевищення температури для окремих деталей, матеріалів або вузлів беруть за ДСТУ або ТУ.  $\Theta_{\text{прип}}$  при нормальному режимі для міді та її сплавів, алюмінію, сталі й температура ізоляційних матеріалів дорівнює  $110^\circ\text{C}$ .

Електричний апарат залежно від вимог електричної установки, яку він обслуговує, може знаходитися у ввімкненому стані протягом різних за величиною проміжків часу. Залежно від тривалості знаходження апарата в тому чи іншому стані розрізняють такі режими роботи: 1) тривалий або стаціонарний; 2) короткочасний; 3) переривно- тривалий.

При тривалому режимі роботи апарат може знаходитися під струмом який завгодно час, протягом якого його струмопровідні частини набувають встановленої температури. Величина її при тривалому режимі роботи має дорівнювати або бути нижчою величини допустимої температури. Оскільки при тривалому режимі роботи температура встановлюється, то розрахунок на нагрівання в цьому режимі виконують за рівнянням теплового балансу

$$k_d I^2 R = k S \tau_{\text{вст.п.}}, \quad (12)$$

де  $\tau_{\text{вст.п.}}$  – встановлене перевищення температури провідника;

$k$  – коефіцієнт теплопровідності;

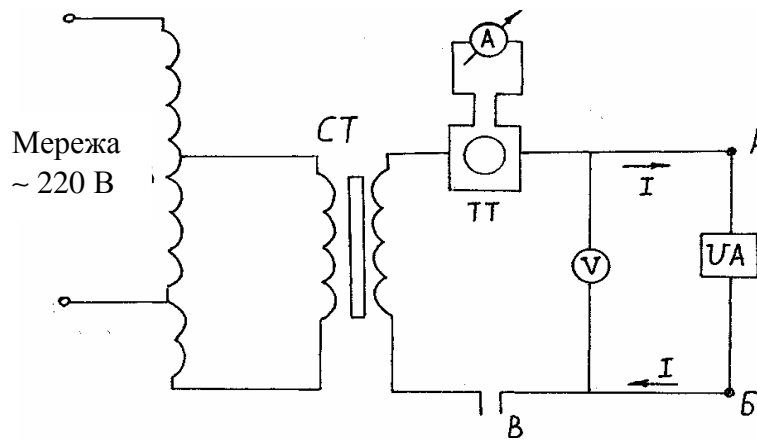
$S$  – площа поверхні охолодження.

Для безпечної роботи провідника повинна виконуватися нерівність  $\tau_{\text{ст}} \leq t_{\text{доп}}$ .

Метою лабораторних робіт №1,2 є дослідження стаціонарного режиму роботи (АВ, плавкого запобіжника), що базується на процесах тривалого теплового нагрівання їх струмопровідних частин.

### Хід роботи

Електрична схема для випробування АВ на номінальний робочий струм ( $I = 6 \text{ A}$ ) наведена на рис.1.



**Рис. 1. – Схема установки до лабораторних робіт № 2, 3:**

АТ – автотрансформатор типу АОНН-40-220-75 У4;  
СТ – силовий трансформатор Р-11,5 кВт (3,82 кА, 38);  
ТТ – трансформатор струму типу УТТ-6М, 2000А;  
V – цифровий прилад типу В7-22А;  
В – автоматичний вимикач А 3700;  
УА – апарат, що випробується.

Величину випробувального струму регулюють за допомогою АВ. Після вмикання АВ на номінальний струм треба виконати таку роботу:

- 1) виміряти початкове падіння напруги на контактах АВ за допомогою вимірювального приладу (V) в момент вмикання струму;
- 2) виміряти початкове падіння напруги на контактах АВ у період від моменту вмикання до виходу на стаціонарний режим нагріву кожні 15хв.;
- 3) визначити точки виходу на стаціонарний режим за величиною постійного падіння напруги;
- 4) виміряти температуру навколишнього середовища;
- 5) виміряти перевищення температури на контактах АВ через кожні 5 хв. до закінчення 30 хвилинного періоду за допомогою термопари й кожні 15 хв. Після закінчення першого 30-ти хвилинного періоду й виходу на стаціонарний режим роботи;
- 6) побудувати криву виходу на стаціонарний режим роботи АВ за падінням напруги та перевищенням температури.

### Контрольні запитання

1. Що таке Джоулева енергія?
2. Рівняння теплового балансу.
3. Як визначається допустима температура апарату?
4. Дайте характеристику режимів роботи апаратів.
5. Яке призначення АВ?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА №3

### ДОСЛІДЖЕННЯ СТАЦІОНАРНОГО ТЕПЛОВОГО РЕЖИМУ РОБОТИ ПЛАВКОГО ЗАПОБІЖНИКА

Елементарна схема для випробування плавкого запобіжника показана на рис.1. У блок випробувального апарата вмикають плавкий запобіжник на струм 10 А. Після вмикання плавкого запобіжника на номінальний струм виконують такі виміри:

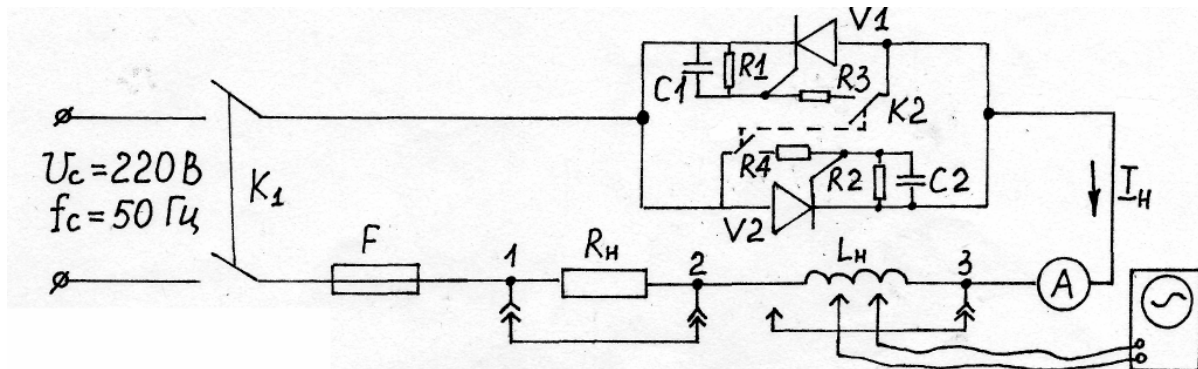
- 1) виміряти початкову напругу за допомогою вимірювального приладу  $U$  в момент вмикання струму;
- 2) виміряти падіння напруги на контактах плавкого запобіжника через кожні 15 хв. у період від моменту вмикання до виходу на стаціонарний режим;
- 3) визначити точку виходу на стаціонарний режим роботи за величиною постійної напруги, тобто коли зміни падіння напруги коливаються в межах 5% від деякої величини;
- 4) виміряти температуру навколишнього середовища (приміщення);
- 5) виміряти перевищення температури на контактах виходу й на корпусі плавкого запобіжника через кожні 5 хв. до закінчення 30 хвилинного періоду за допомогою термопари і кожні 15 хв.;
- 6) побудувати криву виходу на стаціонарний режим роботи за падінням напруги і перевищенням температури  $t$ .

#### Контрольні запитання

1. Наведіть класифікацію запобіжників.
2. Який принцип дії запобіжників?
3. Яка основна характеристика запобіжників?
4. Нагрівання електричних апаратів при вмиканні й вимиканні.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 4

### ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ ТИРИСТОРНОГО КОНТАКТОРА З РІЗНИМИ ВИДАМИ НАВАНТАЖЕННЯ



**Рис.4.1 – Електрична принципова схема лабораторної установки.**

V1, V2 – тиристори на  $I_H = 25\text{A}$ ,  $U_H > 400\text{V}$ ;

R1, R2 – резистор  $100\ \Omega$ ;

C1, C2 – конденсатор  $0,1\ \mu\text{F}$ ,  $U = 200\text{V}$ ;

F – запобіжник  $U_H = 220\text{V}$ ,  $I_H = 5\text{A}$ ;

K1 – двополюсний ключ  $U_H = 220\text{V}$ ,  $I_H = 5\text{A}$ ;

K2 – двополюсний ключ  $U_H = 220\text{V}$ ,  $I_H = 5\text{A}$ ;

R3, R4 – резистор  $10\ \Omega$ ,  $2\text{W}$ ;

$R_H$  – опір навантаження (реостат),  $R_H = 100\ \Omega$ ,  $I = 2\text{A}$ ;

$L_H$  – реактор  $\omega L_H = 100\ \Omega$ ;

A – амперметр зі шкалою  $0,5\text{A}$ .

Дослідити роботу тиристорного контактора з трьома видами навантаження: 1) активним; 2) активно – індуктивним; 3) індуктивним.

#### 1. Активне навантаження:

1.1 Точки 2, 3 з'єднати між собою провідником.

1.2 Ввімкнути K1 (K2 розімкнути). Переконавшись, що струм навантаження  $I_H$  складає десятки міліампер, тому що тиристорний контакт розімкнутий.

1.3 Ввімкнути ключ K2. Струм навантаження при цьому зростає до  $2,2\text{A}$ .

1.4 За допомогою осцилографа визначити форму струму в навантаженні і форму напруги на тиристорах.

1.5 Виміряти амплітуду струму навантаження  $I_{нс}$ .

1.6 Розімкнути ключ і переконавшись, що струм  $I_H$  став близьким до нуля.

#### 2. Активно – індуктивне навантаження:

2.1 Точки 2, 3 розімкнути.

2.2. Переконавшись, що при ввімкненому ключі K2 струм навантаження  $I_H$  дорівнює декільком десяткам міліампер.

2.3. Замкнути ключ K2:

$$\varphi_n = \arctg \frac{\omega L_n}{R_H} = \arctg 1 = \frac{\pi}{4}. \quad (13)$$

За допомогою амперметра дослідити напругу на навантаженні й тиристорах.

2.4. Виміряти сумарні струми навантаження Інс:

$$I_{сн} \cong \frac{U_T}{z} = \frac{220\sqrt{2}}{\sqrt{R^2 + (\omega L)^2}} = \frac{220}{100} = 2,2A. \quad (14)$$

2.5. Виміряти сумарні кут зсуву  $\varphi_n$  між  $U_n$  і  $I_n$ . Він повинен бути близьким  $\frac{\pi}{4}$  (45 градусів).

2.6. Розімкнути К2 і переконатися, що струм навантаження став близьким до нуля.

3. *Індуктивне навантаження.*

3.1.З'єднати точки 1, 2.

3.2.Переконайтеся, що при замкненому К1 і розімкненому К2 струм навантаження  $I_n$  не перевищує декількох десятків міліампер.

3.3.Замкнути К2.

3.4.Виміряти струм навантаження  $I_n$ .

3.5.За допомогою осцилографа визначити зсув за фазою струму навантаження відносно напруги  $\varphi = \frac{\pi}{2}$  (90 градусів).

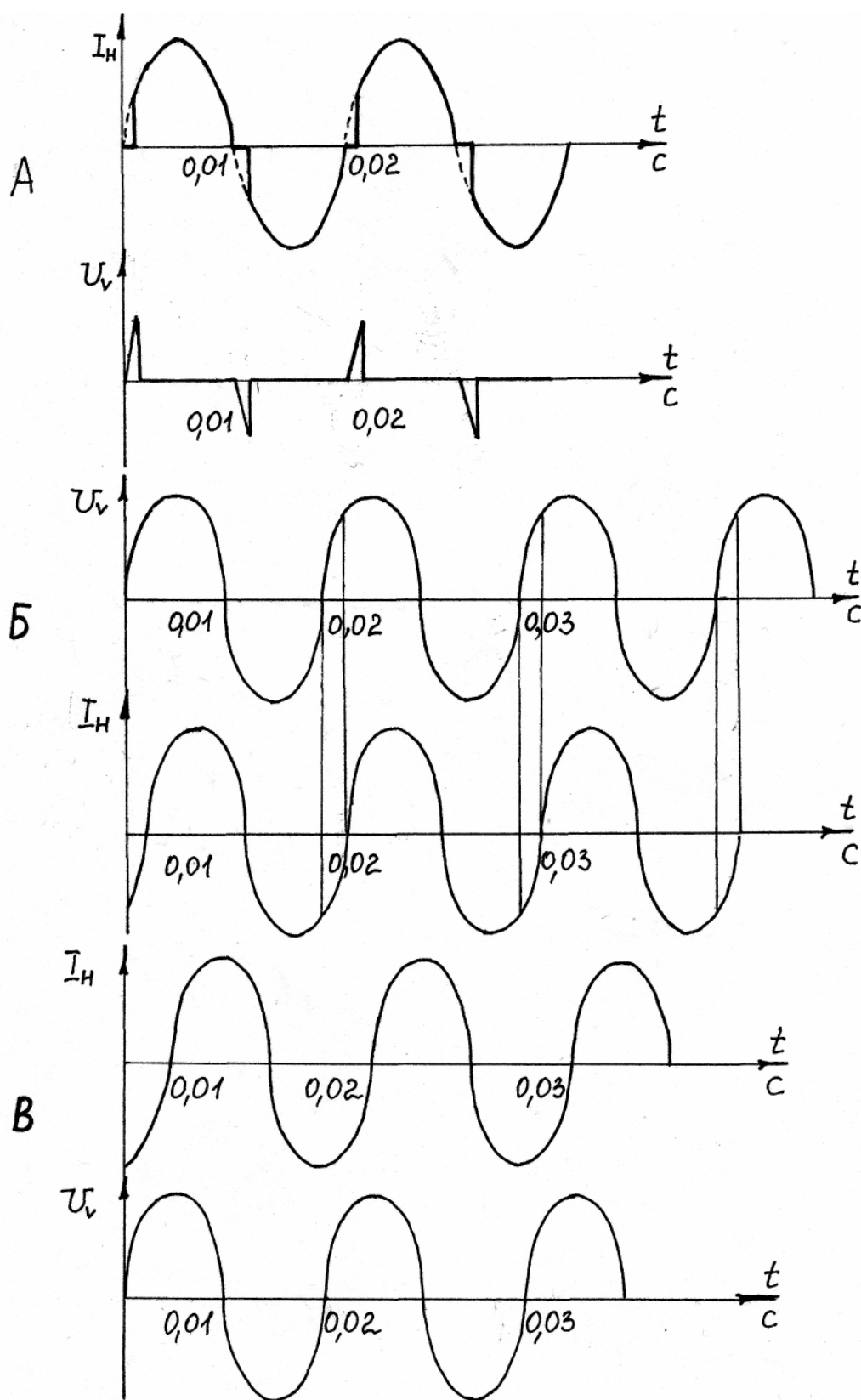
3.6.Виміряти амплітуду струму навантаження:

$$I_{nn} \cong \sqrt{2} \frac{U}{\omega L z} = \sqrt{2} \frac{220}{100} = \sqrt{2} \cdot 2,2A. \quad (15)$$

3.7 Переконайтеся, що при розімкненні К2 струм навантаження зменшується практично до нуля.

### **Контрольні запитання**

1. Які призначення, конструкція і принцип дії контакторів?
2. Назвіть основні функціональні вузли електромагнітних контакторів.
3. Тиристорні контактори.
4. Які особливості роботи тиристорних контакторів на постійному струмі?
5. Дайте порівняльний аналіз електромагнітних і тиристорних контакторів за параметрами (маса, вартість, габарити, швидкодія, надійність, тривалість роботи, електромагнітні перешкоди – електрична дуга).



**Рис. 4.2. – Осцилограми струму в навантаженні й напруги на тиристорах з різними видами навантаження:**

- А – активне навантаження;
- Б – активно-індуктивне навантаження;
- В – індуктивне навантаження.



## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 5

### РЕЖИМ ВІДКЛЮЧЕННЯ СТРУМІВ ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ (2,5-5) ІН ЗАПОБІЖНИКІВ ЗАГАЛЬНОПРОМИСЛОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Найбільш поширеними електричними апаратами захисту є плавкі запобіжники (ПЗ). Типовим представником ПЗ є запобіжник з металургійним ефектом. Металургійний ефект – це зменшення температури руйнування плавкого провідника з відносно важкоплавкого металу внаслідок металургійної взаємодії провідника з нанесеним на нього більш легкоплавким металом. Оскільки в основі металургійного ефекту лежить явище розчинення твердого важкоплавкого провідника в рідкому легкоплавкому матеріалі, то метали, що використовуються для цього, звичайно називають металорозчинниками або металічними розчинниками плавкого елемента, а конструкцію в цілому, крім вказаної назви, – плавким елементом запобіжника з металургійним розчинником.

Металургійний ефект у запобіжниках використовують як для зниження температури спрацьовування, так і для підвищення інерційності захисних характеристик при струмах перевантаження. Останнє пояснюється тим, що зниження температури руйнування плавкого елемента дає змогу виготовляти ці елементи дещо більшого перерізу. Це в поєднанні із штучною дією нанесеного на плавкий елемент легкоплавкого розчинника дозволяє в режимах струмового перевантаження збільшити час і струм, що пропускається без розплавлення плавкого елемента. Необхідна швидкодія при струмах короткого замикання в таких плавких елементах забезпечується ділянками мінімального або спеціально зменшеного перерізу важкоплавкого провідника.

Виділяють дві групи конструкцій плавких елементів з металургійним ефектом:

**перша** – шар або крапля легкоплавкого металу розташовується на поверхні плавких запобіжників, утворюючи з ним паралельне з'єднання;

**друга** – шар або крапля легкоплавкого металу розташовується між плавкими провідниками, утворюючи з ними послідовне з'єднання.

Для захисту низьковольтної апаратури, до якої відносяться світлотехнічні установки, використовують плавкі елементи першої групи. Конструкціями цього типу, переважно застосовуваними в малоамперних запобіжниках, є дротові плавкі елементи, в середній частині яких знаходиться крапля легкоплавкого металу.

Для запобігання стіканню таких крапель при розплавленні на дротових провідниках треба робити петлю.

У практиці апаратобудування найбільш широко застосовують конструкції плавких елементів, у яких як матеріал плавких провідників використовують срібло або мідь, а як матеріал їх легкоплавкого розчинника – олово та його подвійні сплави зі свинцем, кадмієм, цинком.

#### Фізичні процеси у плавких елементах запобіжників з металургійним ефектом

Процес роботи плавких елементів запобіжників з металургійним ефектом являє собою складний гетерогенний процес взаємодії плавкого елемента з металічним розчинником і навколишнім середовищем. Залежно від величини струму, що

проходить через плавких елемент, ці процеси мають різні виявлення і по-різному позначаються на тому чи іншому виді руйнування плавкого елемента. При цьому мається на увазі широкий фізичний смисл руйнування – як будь-якої зміни стану плавкого елемента до суттєвих змін його основних експлуатаційних характеристик.

Робота запобіжника з металургійним ефектом складається з таких етапів:

Перший етап характеризується як робота звичайного твердого провідника. На цьому етапі процес руйнування плавкого елемента обумовлюється дифузійними процесами взаємного розчинення плавкого елемента і металічного розчинника у твердих фазах та процесами атмосферної корозії металів. Інтенсивність цих процесів руйнування звичайно дуже мала і про них можна говорити щодо старіння плавких елементів при їх тривалій експлуатації.

Другий етап – це розплавлення металічного розчинника і розчинення останнім твердого матеріалу плавкого елемента з утворенням на ньому рідкометалічного містка. На цьому етапі роботи плавкого елемента процес його руйнування, крім вказаного процесу розплавлення, визначається також процесом розтікання розплавленого металічного розчинника по поверхні плавкого елемента. Зокрема, внаслідок розтікання у плавкому елементі встановлюється площа контакту і співвідношення вступаючих у взаємодію об'ємів (або мас) металів плавкого елемента й розчинника, а значенням цих величин, у свою чергу, встановлюються час і температура накрізного розчину (або розплавлення) плавкого елемента в цілому.

Третій етап – це розрив рідкометалічного містка і утворення дуги в місці розриву легкоплавкого елемента.

Четвертий етап – це заключний етап руйнування плавкого елемента – його ерозія під дією електричної дуги і повний розрив електричного кола внаслідок евакуації продуктів ерозії плавкого елемента із зони горіння дуги та деіонізації дугової плазми.

Однією з основних характеристик запобіжника є часово-струмова характеристика. Метою даної роботи є побудова саме часово-струмової характеристики.

### **Порядок виконання роботи:**

1. Вмикаємо запобіжник на струм  $1,7I_n$  ( $I_n = 3A$ ). У момент вмикання вимірюємо падіння напруги за допомогою вимірювального приладу.
2. Вимірюємо падіння напруги кожні 2-10 хвилин до моменту повного розплавлення.
3. Вимірюємо за допомогою секундоміру час від моменту вмикання до моменту розплавлення.
4. Ті самі виміри, що в п.1-3, при струмах  $2I_n$ ;  $2,5I_n$ ;  $3I_n$ ;  $3,5I_n$ .
5. Будуємо часово-струмову характеристику запобіжника.

### **Контрольні запитання**

1. Яка сутність металургійного ефекту в плавких запобіжниках?
2. Назвіть основні групи конструкцій плавкого запобіжника з металургійним ефектом.
3. Які фізичні процеси у плавких запобіжниках з металургійним ефектом?
4. Назвіть матеріали плавких елементів з металургійним ефектом.
5. Якими є складності при виготовленні плавких елементів з металургійним ефектом?

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 6

### РЕЖИМ ВІДКЛЮЧЕННЯ СТРУМІВ ПЕРЕВАНТАЖЕННЯ АВТОМАТИЧНОГО ВИМИКАЧА І РОЗРАХУНОК ЙОГО ЕЛЕМЕНТІВ

АВ призначені для захисту електричних кіл та установок від аварійних режимів. Конструкцію АВ можна розділити на чотири основних функціональних вузли:

- 1) чутливий орган або розчіплювач;
- 2) механізм вимикача;
- 3) контактний вузол з дугогасильним пристроєм;
- 4) привод вимикача.

Схема взаємодії функціональних вузлів автомата показана на рис.5.1.

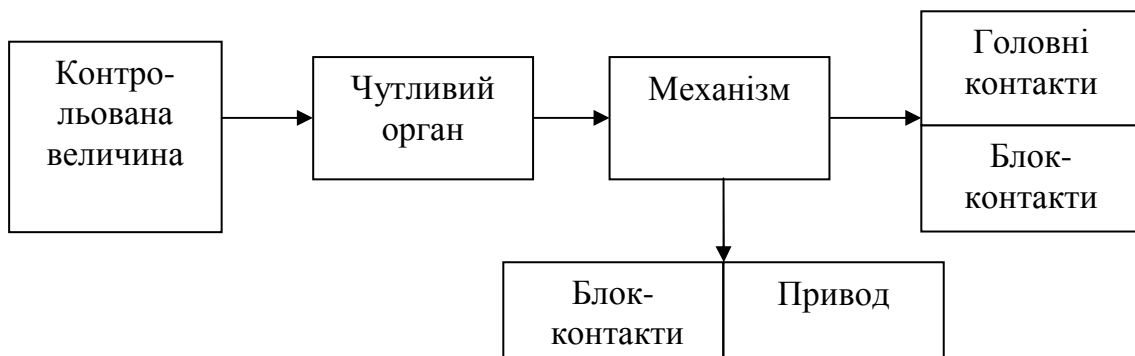
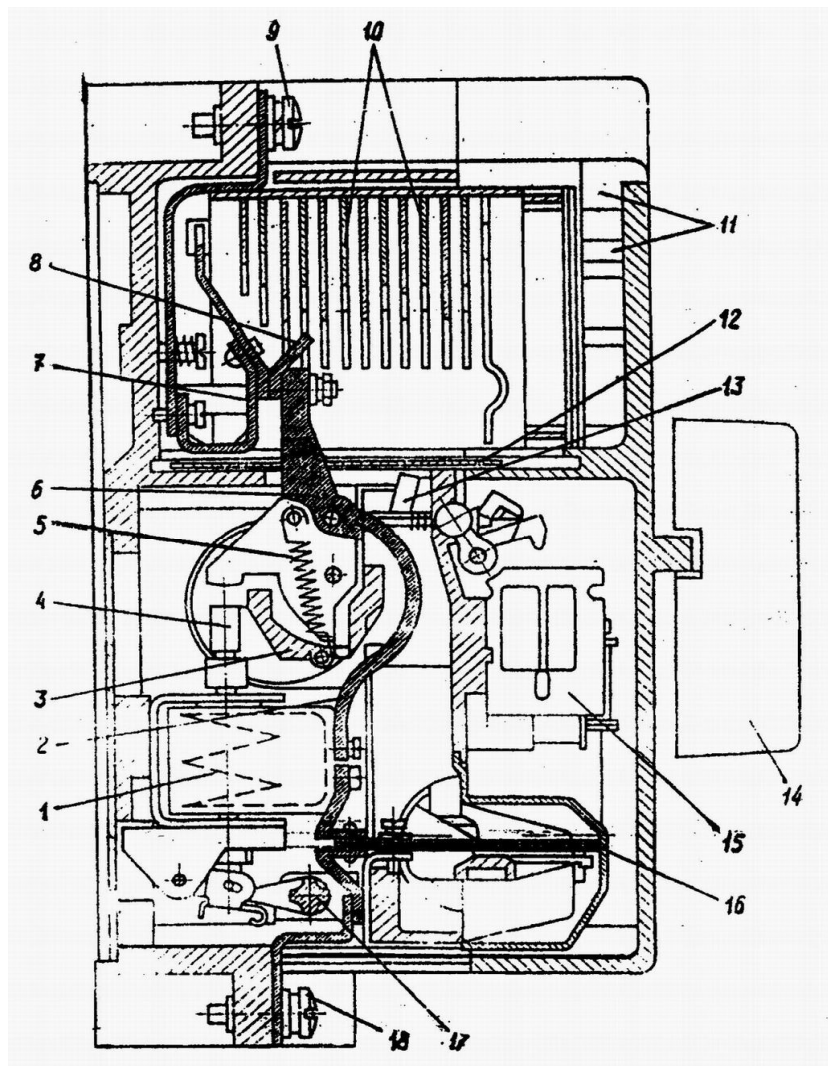


Рис.5.1. – Основні функціональні вузли автомата.

Переріз АВ загально-промислового призначення зображений на рис.5.2.

Чутливий орган автомата сприймає сигнал контрольованої величини і проводить її порівняння із заданою величиною, тобто є основним елементом захисту. Якщо величина сигналу перевищує задану величину, то відбувається спрацювання чутливого органу і дія передається на механізм вмикання, а іноді для збільшення швидкодії автомата – безпосередньо на головні контакти. Чутливий орган, який при спрацюванні звільняє механізм вимикача і виконаний у вигляді окремого вузла, називається розчіплювачем. Контактний вузол автомата – це головні контакти, що здійснюють відімкнення електричного кола, яке вони захищають. У автоматах, які розвивають великі потужності, контактний вузол часто виконується з головних і паралельно ввімкнених дугогасильних контактів, які здійснюють гасіння виникаючої дуги, а іноді мають ще й третій ступінь – проміжні контакти. Привод – це пристрій для вмикання і неавтоматичного вимикання АВ, діючого на його механізм. Для автоматів невеликої потужності й невисокої напруги привод виконують безпосередньо – у вигляді кнопки, рукоятки, важеля та ін.; для автоматів великої потужності – привод дистанційно-електромагнітний, двигуновий, пневматичний. Конструкцію дугогасильної системи виконують дуже потужною, часто використовуючи додаткові котушки електромагнітного дуття, застосовувані у процесі гасіння дуги. Схема роботи й принцип побудови механізму автомата можуть бути різними. До складу механізму автомата можуть входити як механічні, так і електромагнітні й

електричні елементи. Механізм автомата має вільне розчеплення – можливість відключення головних контактів при ввімкненому положенні привода або можливість відключення головних контактів у процесі вмикання привода. Загальною вимогою, що висувається до всіх функціональних вузлів АВ, є мала інерційність усіх частин, як механічних, так і електромагнітних.



**Рис. 5.2 – Переріз вимикача загальнопромислового призначення:**

1 – обмотка відключаючого електромагніту; 2 – гнучке з'єднання;  
 3 – з'єднаний із замком ізоляційний елемент, на якому закріплюються плечі шести рухомих контактів; 4 – якорь відключаючого електромагніта;  
 5 – контактна пружина; 6 – плече рухомого контакту; 7 – нерухомий контакт; 8 – рухомий контакт; 9 – приєднувальний затискач; 10 – дугогасильні плити; 11 – видувальний отвір; 12 – ізоляційна перегородка, що пересувається разом з плечем 6; 13 – амортизатор; 14 – приводний важіль; 15 – допоміжний розчіплювач; 16 – захисний термобіметалічний розчіплювач; 17 – вал, що звільняє замок; 18 – приєднувальний затискач.

### **Порядок розрахунку вимикачів**

Вихідними даними для розрахунку вимикача будь-якого типу є рід струму, тривалий струм і напруга, а також умови його роботи: розрив кола під струмом або без струму; місце встановлення; частота вмикання; вимоги техніки безпеки та ін.

За вимогами роботи орієнтовно вибирають тип вимикача і намічають схему його механізму.

На базі величини тривалого струму розраховують необхідний контактний натиск, вибирають матеріал і форму контактів, визначають їх розміри й параметри. На базі отриманих величин контактного натиску (початкового й кінцевого) і провалу контактів розраховують контактні пружини, що забезпечують цей натиск.

Відповідно до попередньо наміченої схеми вимикача проводять кінематичний розрахунок механізму, уточнюють розміри окремих елементів, визначають переміщення частин механізму і рукояток, що забезпечують роз'єднання контактів і роботу механізму. Після кінематичного розрахунку виконують, при необхідності, розрахунок на стійкість деталей механізму, після чого розглядають статичну характеристику, визначають зусилля на рукоятці керування, здійснюють аналіз і дають висновки про придатність механізму. У разі незадовільного результату розрахунку (наприклад, великі зусилля на рукоятці) виконують коректування окремих елементів і розрахунок проводять знову. Ізоляційна відстань між деталями, що знаходяться під різними потенціалами, а також між деталями, які перебувають під напругою, і кріпильними деталями вимикача повинна відповідати ДСТУ.

### **Порядок виконання роботи**

1. Після вмикання автоматичного вимикача на номінальний струм зафіксувати час виходу на режим, виміряти падіння напруги на контактах.
2. Збільшувати струм вимикача до перевантаження 1,7; 2; 2,5; 3 $I_n$ , при цьому кожного разу вимірювати час від початку перевантаження до моменту вмикання АВ кола (спрацьовування автоматичного вимикача).
3. На базі вимірів побудувати захисну характеристику АВ ( $t = f(I_p/I_n)$ ), де  $I_p$  – струм перевантаження;  $I_n$  – номінальний струм).
4. Процес відключення кола спостерігають за допомогою електронного осцилографа із запам'ятовуванням. На осцилографі спостерігають криву падіння струму до нуля і стрибок напруги на контактах.

### **Контрольні запитання**

1. Який принцип роботи автоматичного вимикача?
2. Які основні функціональні вузли автоматичного вимикача?
3. Назвіть порядок розрахунку автоматичного вимикача.
4. Які види АВ високої і низької напруги?
5. Які способи гасіння дуги в АВ? Види дугогасійних пристроїв АВ.
6. Назвіть види розчіплювачів АВ.

## ЛАБОРАТОРНА РОБОТА № 7

### МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ЩІЛЬНОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОГО СТРУМУ В ПРОВІДНИКУ ЗМІННОГО ПЕРЕРІЗУ – У СТРИЧКОВИХ ПЛАВКИХ ЕЛЕМЕНТАХ ШВИДКОДІЮЧИХ ЗАПОБІЖНИКІВ

Мета роботи: визначення розподілу щільності електричного струму – електричного потенціалу в моделі плавкого елемента складної геометричної форми, виготовленого з електропровідного паперу, імітуючого розподіл щільності струму в плавкому елементі, який виготовлений із срібної, мідної або алюмінієвої фольги. Конструкція швидкодіючого плавкого запобіжника наведена на рис.6.1.

Моделювання базується на апробованій гіпотезі про те, що електричне поле в плавкому елементі є квазістатичним і задовольняє рівнянню Лапласа.

Геометрична форма й розміри перешийків – областей зменшеного перерізу в стрічкових плавких елементах швидкодіючих запобіжників великою мірою визначають весь комплекс взаємопов'язаних електричних і теплових явищ у цих апаратах. За допомогою зміни форми плавкого елемента можна керувати теплопередачею та дугогасінням в різних комутаційних режимах. Говорячи про геометрію плавкого перешийка, мають на увазі особливості конфігурації вирізів, зроблених на стрічці. Однак кількість паралельно і послідовно з'єднаних плавких перешийків також має велике значення. Кількість послідовно з'єднаних перешийків перш за все визначає величину напруги на дузі запобіжника і витрати потужності в номінальному режимі. Кількість паралельно з'єднаних перешийків має велике значення у керуванні витратами в номінальному режимі й щільністю номінального струму.

Сьогодні у виробництві та експлуатації знаходяться запобіжники з різною геометрією плавких елементів, проте науково обґрунтовані методи аналізу проблеми вибору оптимальної геометричної форми достатньою мірою не розроблені й у відповідній літературі мало розкриті. Вважаємо за можливе оцінку геометрії елемента проводити за комплексною методикою, побудованою на базі доповнюючих один одного диференційно-інтегральних підходів.

Диференційний підхід включає постановку задачі, прийняття припущення і метод аналізу. Цей підхід базується на визначенні розподілу щільності струму в плавкому елементі складної геометричної форми.

Значення електричного поля в такому провіднику змінного перерізу потрібне не тільки для знаходження оптимальної геометрії елемента, але також є необхідною умовою для розрахунку температурного поля запобіжника, оскільки визначає інтенсивність внутрішніх джерел тепла. За умовами симетрії відносно координатних осей  $X$ ,  $Y$ ,  $Z$  у плавкому елементі розглядається заштрихована область, що має у загальному випадку вільну геометричну форму.

При аналізі щільності струму в просторі й часі треба ставити й вирішувати задачу електродинаміки, виходячи з рівнянь Максвелла, що мають вигляд

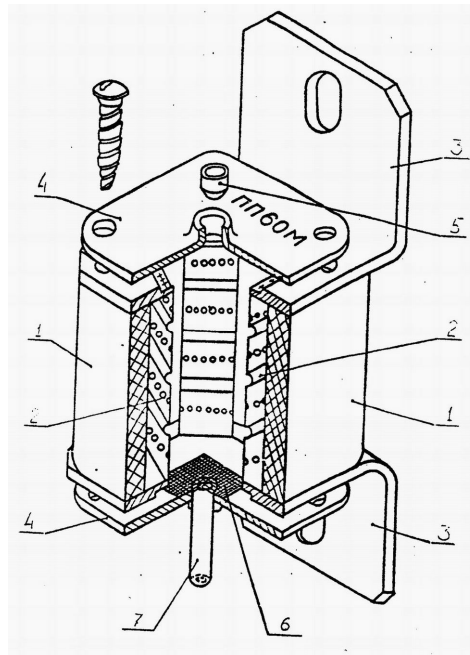
$$\operatorname{rot} H = \frac{4\pi\sigma}{v} E + \frac{\varepsilon}{v} \frac{dE}{dt},$$

$$\frac{\mu}{v} \frac{dH}{dt} = -\operatorname{rot} E, \quad (17)$$

$$\operatorname{div} J - \frac{dq}{dt} = 0.$$

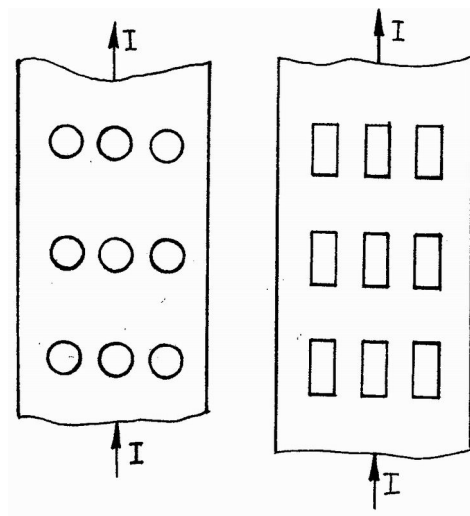
Загальна постановка й вирішення задачі електродинаміки становить великі труднощі. З метою вивчення можливості спрощення задачі було проведено аналіз, який показав обґрунтованість введення гіпотези про те, що електричне поле в плавкому елементі запобіжника є квазістатичним і задовольняє рівнянню Лапласа. Разом з цим у реальних режимах роботи запобіжників діють два фактори, що викликають відхилення від умов стаціонарного електричного поля постійного струму в ізотропному провідному середовищі. Це обумовлено нагріванням від протікання струму, анізотропією плавкого елемента, питомий електричний опір якого в різних точках може відрізнятися на 40-80% при різниці температури 100-200°C, й виміру електричного струму. У зв'язку з цим для перевірки гіпотези на базі оцінки цих факторів були проведені дві групи експериментів. У першій групі досліджували вплив температури (величини струму). Характерну область плавкого елемента моделювали в масштабі 10:1 та 20:1 за допомогою електропровідного паперу і фольги з цинку, міді, алюмінію, срібла. Цю область розбивали на 30...50 елементарних ділянок. Для живлення елемента з електропровідного паперу використовували стандартне джерело 28В, що при опорі моделі 10-30 кОм (довжиною 100...200) забезпечувало протікання струму не більше 1мА з витратами потужності близько 0,03Вт. Вимірювання потенціалу окремих ділянок здійснювали звичайним вольтметром. При дуже малих значеннях струму можна вважати, що при моделюванні на електропровідному папері вплив температури на розподіл потенціалу практично виключений. З метою порівняння з моделлю такої ж геометрії, але зробленою з фольги, пропускали досить великий струм. Особливо зручною для дослідження виявилася модель з цинку, опір якого майже в 4 рази, ніж срібла. Від низьковольтного джерела 3,5В крізь модель з опором 10-20 Ом пропускали струм 10...100А, що призводило до нагрівання елементарних ділянок моделі до 70...190°C при падінні напруги до 100мВ. Потенціали елементарних ділянок вимірювали за допомогою універсального цифрового приладу В7-127А. Висока точність вимірювань досягалася завдяки великій довжині моделі (до 100мм).

У результаті порівняння встановлено, що характер розподілу еквіпотенціальних ліній на електропровідному папері й фользі при однаковій геометрії моделі однаковий і не залежить від температури (величини струму), у тому числі умов охолодження. Ці випробування показали існування взаємокомпенсуючої дії зміни питомого електричного опору  $\rho$  і напруги  $E$ , у результаті чого фактично однакова інтенсивність зміни цих параметрів під впливом температури стабілізує щільність струму  $J = \frac{E}{\rho}$  на визначеному рівні.



**Рис. 6.1. – Переріз запобіжника загальнопромислового призначення:**

1 – фарфоровий корпус; 2 – плавкий елемент (мідний, срібний); 3 – контактний вивід (мідний); 4 – латунна кришка; 6 – сітка (технологічна); 7 – трубка (технологічна).



**Рис. 6.2. – Форми плавких елементів змінного перерізу**

У другій групі експериментів на моделях з фольги вивчали розподіл потенціалів і щільності струму елементарних ділянок під час протікання постійного, змінного синусоїдального струмів, у тому числі при циклічному їх перериванні, а також струму короткого замикання як найбільш характерних для реальних умов роботи запобіжників. При вивченні впливу зміни форми одночасно в кількох точках моделі користувалися світлопроменевим (електромагнітним) осцилографом типу К-121 (Н-177/1) та електронним двопроменевим осцилографом з пам'яттю типу С8-17.



Встановлено, що характер розподілу потенціального поля практично не змінюється при зміні форми струму. Аналогічний висновок можна зробити й щодо поля щільності струму, для визначення якого провідність у відповідних точках уточнювали з урахуванням температури, яку вимірювали термопарами за допомогою датчика типу Тг 5.182, що входить до комплекту приладу В7-27А. Експериментальне підтвердження прийнятої гіпотези про квазістатичний характер електричного поля у плавкому запобіжника дозволяє виконати теоретичний аналіз.

### **Порядок виконання роботи**

1. Виміряти за допомогою омметра опір моделі плавкого елемента й частини плавкого елемента.
2. Використати стандартне джерело живлення 15В і забезпечити протікання струму крізь модель приблизно 1мА.
3. За допомогою вольтметра виміряти потенціали в різних точках плавкого елемента.
4. Побудувати криві розподілу щільності струму (потенціалу) від координати вимірювальної ділянки (на міліметровому папері).

### **Контрольні запитання**

1. На чому базується моделювання розподілу густини електричного струму в провіднику змінного перерізу?
2. Нагрівання плавкої вставки при КЗ.
3. Які способи гасіння дуги в запобіжниках?
4. Залежність характеристик запобіжників від форми вирізів плавких вставок.
5. Які особливості спрацьовування запобіжників із стрічковими плавкими елементами при перевантаженнях та КЗ?

## **II. СЕМЕСТРОВІ КОНТРОЛЬНІ ЗАВДАННЯ**

### **II.1. Зміст дисципліни**

Матеріал, що вивчається в курсі «Електричні апарати» умовно поділений на два змістових модулі, що включають в себе наступні теми:

#### ***Змістовий модуль 1.***

##### **Теоретичні основи функціонування електричних апаратів.**

**Тема 1.** Спрямованість курсу та його місце серед суміжних спеціальних дисциплін. Основні розділи курсу. Призначення, класифікація електричних апаратів і вимоги до них.

**Тема 2.** Електродинамічні сили (ЕДС) в електричних апаратах. ЕДС між паралельними провідниками. ЕДС, діючі на перемичку. ЕДС, діючі у витку, котушці й між котушками. ЕДС в місці зміни перерізу провідника. ЕДС при змінному струмі.

**Тема 3.** Нагрівання електричних апаратів. Загальні відомості. Активні втрати енергії в електричних апаратах. Засоби передачі тепла всередину нагрітих тіл і з їх поверхні. Сталий процес нагріву. Нагрівання апарату в перехідних режимах і при КЗ.

**Тема 4.** Електричні контакти. Режими роботи контактів. Конструкції і матеріали контактів. Методи розрахунку контактів.

**Тема 5.** Електрична дуга постійного струму. Електрична дуга в магнітному полі. Процес горіння і гасіння дуги змінного струму при відключенні активного кола. Відключення індуктивного кола при змінному струмі. Процес відновлення напруги. Залежність швидкодії і частоти від параметрів обладнання та схеми КЗ. Способи гасіння електричної дуги.

#### ***Змістовий модуль 2.***

##### **Конструкція, принцип дії і особливості експлуатації електричних апаратів різного функціонального призначення.**

**Тема 6.** Апарати керування: контролери, контактори, реле напруги та струму, реле часу. Характеристики апаратів керування, вимоги до них. Конструкція апаратів керування.

**Тема 7.** Безконтактні апарати керування.

**Тема 8.** Апарати розподільних пристроїв високої і низької напруги: рубильники, вимикачі, запобіжники, відокремлювачі, короткозамикачі, реактори, розрядники.

У табл. 1 наведені відомості про літературні та інші інформаційні джерела, в яких розглянуті теми, що вивчаються в курсі «Електричні апарати».

Таблиця 1 – Перелік інформаційних джерел за темами курсу

Підручники, навчальні посібники, інші видання Інтернет адреси		Теми, де застосовується
1	Чунихин А.А. Электрические аппараты, 1988.	1-8
2	Родштейн Л.А. Электрические аппараты, 1981	1-8
3	Намиотов К.К., Терешин В.Н. Автоматические выключатели в энергосистемах, 2000.	8
1	Намиотов К.К., Ильина Н.А., Шкловский И.Г. Аппараты защиты для полупроводниковых устройств, 1988.	6,7
2	Намиотов К.К. Испытания аппаратов низкого напряжения, 1985	8
3	Намиотов К.К., Ильина Н.А. Аппараты низкого напряжения, 1984	8
4	Намиотов К.К., Пахомов П.Л., Харин С.Н. Излучение газоразрядной плазмы, 1984	5
5	Таев И.С. Основы теории электрических аппаратов, 1984.	2-5
6	Теория электрических аппаратов/ под редакцией Г.Н. Александрова, 2000.	1-5
1	Ільїна Н.О., Ляшенко О.М. Конспект лекцій з курсу “Електричні апарати”, 2004.	1-8
3	Журнал “Електропанорама”. <a href="http://www.electropanorama.com.ua">www.electropanorama.com.ua</a>	2-8
4	Журнал “Електротехніка та електромеханіка”	6-8

## II.2 Семестрові контрольні роботи

Семестрові контрольні роботи студенти виконують протягом семестру, вони полягають у відповідях на два теоретичних питання з переліку, наведеного нижче, а варіант контрольної роботи визначається за табл.2 залежно від порядкового номеру студента в списку академічної групи.

### Перелік теоретичних питань для виконання контрольних робіт

1. Класифікація електричних апаратів (ЕА) та вимоги, пред'явлені до них.
2. Електродинамічні сили (ЕДС) в електричних апаратах.
3. Розрахунок електродинамічних зусиль (ЕДЗ) та напрямків їх дії.
4. Сили між паралельними провідниками.
5. Сили та моменти, діючі на перемичку.
6. Сили, діючі у витку, котушці та між котушками.
7. Електродинамічні зусилля у місці зміни перерізу провідника.
8. Електродинамічні зусилля при наявності феромагнітної частини.
9. Електродинамічні зусилля при змінному струмі.
10. Механічний резонанс.
11. Нагрів електричних апаратів. Загальні відомості.
12. Активні втрати енергії в електричних апаратах.
13. Засоби передачі тепла всередину нагрітих тіл і з їх поверхні.
14. Встановлений процес нагріву.
15. Нагрів апарата в перехідних режимах.
16. Нагрів апарата при КЗ.
17. Припустимі температури для різних частин апарата при довгочасній роботі.
18. Припустимі температури для різних частин апарата при КЗ.
19. Термічна стійкість апарата.
20. Дослідне визначення температури в електричних апаратах.
21. Тепловий розрахунок елементів апарата.
22. Режим роботи контактів.
23. Матеріали контактів.
24. Конструкції контактів.
25. Розрахунок контактів апарата.
26. Електрична дуга постійного струму.
27. Електрична дуга в магнітному полі.
28. Процес горіння і гасіння дуги змінного струму при відключенні активного кола.
29. Відключення індуктивного кола при змінному струмі.
30. Процес відновлення напруги.
31. Швидкість відновлення напруги.
32. Власна частота відключення кола.
33. Залежність швидкості й частоти від параметрів обладнання та схеми КЗ.
34. Відключення короткої дуги змінного струму.
35. Особливості відключення кола з підвищеною частотою струму.
36. Відключення малих індуктивних струмів.

37. Загальні відомості про магнітні кола апарату.
38. Магнітне коло електромагнітів постійного струму.
39. Магнітне коло електромагнітів змінного струму.
40. Обмотки трансформаторів.
41. Магнітні матеріали для електромагнітів постійного та змінного струмів.
42. Сила тяжіння електромагнітів.
43. Динаміка та час спрацьовування електромагнітів
44. Магнітні кола з постійними моментами.
45. Вимоги до механізмів апарата.
46. Відключення механізму апарата.
47. Включення механізму апарата.
48. Контактори.
49. Резистори пускових та пускорегулюючих реостатів.
50. Контролери.
51. Будова контактора з керуванням від мережі постійного струму.
52. Контактори змінного струму.
53. Види АВ високої і низької напруги.
54. Способи гасіння дуги в АВ. Види дугогасильних пристроїв АВ.
55. Види розчіплювачів АВ.
56. Електрична дуга постійного струму.
57. Електрична дуга в магнітному полі.
58. Процес горіння і гасіння дуги змінного струму при відключенні активного кола.
59. Відключення індуктивного кола при змінному струмі.
60. Процес відновлення напруги. Швидкість відновлення напруги.
62. Власна частота відключення кола.
63. Залежність швидкості й частоти від параметрів обладнання та схеми КЗ.
64. Відключення короткої дуги змінного струму.
65. Особливості відключення кола з підвищеною частотою струму.
66. Відключення малих індуктивних струмів.
67. Загальні відомості про магнітні кола апарату.
68. Магнітне коло електромагнітів постійного струму.
69. Магнітне коло електромагнітів змінного струму.
70. Обмотки трансформаторів.
71. Магнітні матеріали для електромагнітів постійного і змінного струмів.
72. Сила тяжіння електромагнітів.
73. Динаміка і час спрацьовування електромагнітів
74. Магнітні кола з постійними моментами.
75. Вимоги до механізмів апарата.
76. Відключення механізму апарата.
77. Включення механізму апарата.
78. Контактори.
79. Резистори пускових і пускорегулюючих реостатів.
80. Контролери.
81. Будова контактора з керуванням від мережі постійного струму.
82. Контактори змінного струму.
83. Магнітні пускачі.

84. Електромагнітні реле.
85. Теплові реле.
86. Безконтактні апарати керування та автоматики.
87. Датчики неелектричних величин.
88. Резистивні й контактні датчики.
89. Індукційні датчики.
90. Апарати розподільчих пристроїв низької і високої напруги.
91. Рубильники. Загальні відомості.
92. Конструкція рубильників.
93. Пакетні вимикачі й перемикачі.
94. Запобіжники. Загальні відомості.
95. Нагрів плавкої вставки при КЗ.
96. Конструкція запобіжників низької напруги.
97. Вибір запобіжників.
98. Автоматичні вимикачі. Загальні відомості.
99. Струмоведуче коло й дугогасильна система автоматів.
100. Розчіплювачі автоматичні.
101. Роз'єднувачі. Загальні відомості.
102. Конструкція роз'єднувачів і приводів до них.
103. Блокування роз'єднувачів і вимикачів.
104. Від'єднувачі й короткозамикачі.
105. Реактори. Загальні відомості.
106. Конструкції реакторів.
107. Здвоєні реактори.
108. Розрядники. Загальні відомості. Призначення розрядників і вимоги до них.
109. Трубочасті розрядники.
110. Вентильні розрядники.
111. Розрядники постійного струму.
112. Трансформатори струму. Загальні відомості.
113. Залежність похибки від різних факторів. Компенсація похибки.
114. Режим роботи трансформаторів струму. Конструкція трансформаторів струму.
115. Вибір трансформаторів струму.
116. Трансформатори напруги. Загальні відомості. Конструкція трансформаторів напруги.
117. Ємнісні ділильники. Загальні відомості. Конструкція ємнісних ділильників.
118. Комплексні розподільні пристрої (КРП).
119. Комплексні станції керування.
120. Умови роботи ізоляції і вимоги до неї. Ізоляція електричних апаратів.

Таблиця 2 – Варіанти завдань семестрових контрольних робіт

№ варіанту	Контрольна робота за 1 змістовим модулем		Контрольна робота за 2 змістовим модулем	
	№ першого завдання	№ другого завдання	№ першого завдання	№ другого завдання
1	1	31	61	91
2	2	32	62	92
3	3	33	63	93
4	4	34	64	94
5	5	35	65	95
6	6	36	66	96
7	7	37	67	97
8	8	38	68	98
9	9	39	69	99
10	10	40	70	100
11	11	41	71	101
12	12	42	72	102
13	13	43	73	103
14	14	44	74	104
15	15	45	75	105
16	16	46	76	106
17	17	47	77	107
18	18	48	78	108
19	19	49	79	109
20	20	50	80	110
21	21	51	81	111
22	22	52	82	112
23	23	53	83	113
24	24	54	84	114
25	25	55	85	115
26	26	56	86	116
27	27	57	87	117
28	28	58	88	118
29	29	59	89	119
30	30	60	90	120

### III. Формування підсумкової оцінки з курсу «Електричні апарати» при модульно-рейтинговій системі навчання

Об'єктами контролю вважається якість усіх видів навчальної роботи з дисципліни, активність, ініціативність та самостійність студента під час лекційних і лабораторних занять, виконання індивідуальних семестрових завдань і самостійної роботи.

Загальна кількість балів з поточного контролю визначається за формулою

$$P_{нк} = \sum_{i=1}^m P_a + \sum_{i=1}^n P_{с.р.} + \sum_{i=1}^k P_з - \sum_{i=1}^l P_{штр.},$$

де  $P_{нк}$  – загальна кількість балів поточного контролю;

$P_a$  – кількість балів, отриманих від контролю аудиторних видів навчання (відвідування аудиторних занять, виконання і захист лабораторних робіт);

$P_{с.р.}$  – кількість балів, отриманих від контролю самостійної роботи (виконання і захист семестрових контрольних робіт за змістовими модулями);

$P_з$  – кількість заохочувальних балів (за активність студента протягом занять, за передчасно і своєчасно виконані завдання, за творчий підхід до виконання завдань);

$P_{штр}$  – кількість “штрафних” балів (за бездіяльність на заняттях, за несвоєчасне виконання контрольних завдань).

Загальна кількість балів з дисципліни можна визначити за формулою

$$P_{д.б.} = \sum_{i=1}^m P_{н.к.} + \sum_{i=1}^n P_{пр.к.} + P_{під.к.}$$

де  $P_{д.б.}$  – загальна кількість балів з дисципліни;

$P_{н.к.}$  – кількість балів поточного контролю;

$P_{під.к.}$  – кількість балів підсумкового контролю (кількість балів, отриманих на іспиті).

Рейтинг з дисципліни у відсотках визначається за формулою

$$P_{д.б.} = 60 \cdot \sum_{i=1}^m P_{н.к.} + 40 \cdot P_{під.к.}.$$

Кількість балів з кожного виду навчальної роботи при вивченні курсу «Електричні апарати» наведена у табл. 3



Таблиця 3 –Кількість балів з кожного виду навчальної роботи

Види навчальної роботи	Лекції	Лабораторні роботи	Семестрові контрольні роботи	Іспит
Присутність	8	8		
Виконання завдання		16	16	
Захист завдання		32	40	80
Заохочувальні бали	10			
Штрафні бали	10			
Максимальна кількість балів за видами роботи	8	56-66	56	80
Загальна кількість балів з дисципліни	200			

Підсумкова оцінка з дисципліни за шкалою ECTS залежно від рейтингу студента відповідно до нормативів наведена у табл.4.

Таблиця 4 – Шкала оцінок за ECTS

% набраних балів	Оцінка за національною шкалою	Оцінка за шкалою ECTS
Більше90	Відмінно	A
80 – 90	Добре	B
70 – 80		C
60 – 70	Задовільно	D
50 – 60		E
21 – 49	Незадовільно з можливістю повторного складання	FX
1 – 20	Незадовільно з обов'язковим повторним курсом	F

## Основні терміни

**Запобіжник** – комутаційний електричний апарат, призначений для вимикання електричного кола, яке він захищає, шляхом руйнування спеціально передбачених для цього струмоведучих частин під дією струму, що перевищує встановлене значення.

**Номінальний струм плавкої вставки запобіжника** – струм, на який розрахована плавка вставка для тривалої роботи.

**Номінальний струм запобіжника** – струм найбільшого з номінальних струмів плавких вставок, призначених для цієї конструкції запобіжника.

**Плавлячий струм  $I_{\infty}$**  – найбільший струм, при якому плавка вставка не перегорить протягом тривалого часу. Він залежить від багатьох факторів: розмірів перерізу вставки, її форми, матеріалу й довжини, конструкції запобіжника, температури оточуючого середовища та ін.

**Граничний струм вимикання запобіжника** – найбільший струм, який плавкий запобіжник може відключити без будь-яких пошкоджень або деформацій, що заважають його подальшій роботі після заміни плавкої вставки.

**Вимикаюча здібність плавкого запобіжника** – якість запобіжника вимикати максимальний струм перевантаження при номінальній напрузі без руйнування корпусу запобіжника.

**Опір ізоляції** – електричний опір постійному струму між виводами запобіжників, коли перегорів плавкий елемент.

**Номінальна напруга плавкого запобіжника** – граничне значення робочої напруги, що дозволяється умовами експлуатації запобіжника.

**Час спрацьовування плавкого запобіжника** – інтервал часу від початку дії струму перевантаження до розмикання електричного кола внаслідок перегорання плавкого елемента.

**Власний час вимикання АВ** – час від моменту, коли контрольований параметр перевищив установлене для нього значення (уставку) до моменту початку розмикання контактів, або час від подавання імпульсу на вимикання до моменту початку розмикання контактів. Цей час залежить від способу розчеплення та конструкції розчеплюючого пристрою вимикача, від сили вимикаючих пружин, маси рухомої системи та шляху цієї маси до моменту розмикання контактів.

**Повний час вимикання вимикача** – власний час вимикання плюс час гасіння дуги, яке залежить головним чином від ефективності дугогасійного пристрою.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Основы теории электрических аппаратов/ Под ред. Гурьева Б.К. –М.: Высшая школа, 1970.
2. Залесский А.М. Основы теории электрических аппаратов. – М.: Высшая школа, 1974.
3. Чунихин А.А. Электрические аппараты. – М.: Энергия, 1988.
4. Таев И.С. Основы теории электрических аппаратов. – М.: Энергия, 1984.
5. Намитоков К.К., Ильина Н.А. Аппараты низкого напряжения. – М.: Энергия, 1984.
6. Намитоков К.К. Испытания аппаратов низкого напряжения. – М.: Энергия, 1985.
7. Сахаров П.В. Технология электроаппаратостроения. – М.: Энергия, 1965.
8. Родштейн Л.А. Электрические аппараты. – Л.: Энергоатомиздат, 1981.

## Навчальне видання

Методичні вказівки до виконання лабораторних і семестрових контрольних робіт з курсу **«Електричні апарати»** за модульно-рейтинговою системою навчання (для студентів 3 курсу денної і 3-4 курсів заочної форм навчання за напрямом підготовки 6.050701 «Електротехніка та електротехнології» спеціальності «Світлотехніка і джерела світла»).

Укладачі: Тимофєєв Євген Петрович,  
Ляшенко Олена Миколаївна,  
Васильєва Юлія Олегівна

Редактор *М. З. Аляб'єв*

Коректор *З. І. Зайцева*

Комп'ютерне верстання *Ю. П. Степась*

План 2008, поз. 50 М

---

Підп. до друку 27.05.2008 р.

Формат 60x84 1/16

Друк на ризографі.

Ум. друк. арк. 2,1

Зам. №

Тираж 100 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківська національна академія міського господарства

вул. Революції, 12, Харків, 61002

Електронна адреса: [rectorat@ksame.kharkov.ua](mailto:rectorat@ksame.kharkov.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 731 від 19.12.2001